

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Жмудя Вадима Аркадьевича, на диссертационную работу Бобровского Алексея Иванович «Теоретические основы синтеза методов и алгоритмов адаптивной обработки видеoinформации в космических системах наблюдения динамических сцен» по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации»

### Актуальность темы диссертации

Диссертация направлена на обеспечение наилучшего качества информации о наблюдаемых динамических сценах при проектировании систем наблюдения в космосе. Автор поставил и решает проблему развития теоретических основ синтеза космических видеoinформационных систем в направлении совместной согласованной адаптивной обработки изображений динамических сцен в фотоприёмной матрице и бортовом вычислителе, разрешающих противоречие между ограниченной скоростью передачи и обработки видеoinформации в бортовых системах наблюдения в условиях существенных ресурсных ограничений и необходимостью достижения в реальном масштабе времени высокого качества передаваемой информации. Эта проблема усугубляется тем, что дальность до объекта и освещенность сцены в целом изменяется на 6 порядков, а освещенность отдельных объектов изменяется на 10 порядков, поэтому без адаптации режима работы видеокамер невозможно получить достаточно информативные изображения, тогда как требования к качеству таких изображений и к скорости их получения постоянно увеличиваются по мере расширения сфер действий космических аппаратов, особенно при стыковке. Таким образом, проблема и поставленные для её решения задачи, решаемые диссертантом, достаточно актуальны и имеют существенное хозяйственное и прикладное значение.

Целью работы является создание концепций построения всего тракта, начиная от видеокамер, включая концепции обработки сигналов. Отличительной особенностью диссертационной работы А. И. Бобровского является конструктивный подход к синтезу космических видеoinформационных систем, состоящий не в пассивном учёте ключевых параметров системы – скоростного смаза и гистерезиса в системе управления параметрами накопления сигнала в фотоприёмной матрице, а их оптимизация.

Объектом исследования диссертации являются космические видеoinформационные системы, включающие фотоприёмные и вычислительные системы обработки видеoinформации космического корабля. Исследуются модели процесса приема сигналов, процессы определения дальности до объектов, зависимость информативности видеoinформации от условий работы всех подсистем и другие аспекты.

### Новизна научных положений, сформированных в диссертации.

Основная идея, изложенная в рецензируемой диссертации: при проектировании перспективных космических видеoinформационных систем должна предусматриваться адаптация кадровой частоты к этапам наблюдения, осуществляемая

для минимизации ошибок оценивания пространственно-временных координат наблюдаемых динамических объектов на основе оптимизации инерционности и гистерезиса в контурах управления параметрами разложения изображения в фотоприемной матрице. Важной характеристикой новизны диссертационной работы Бобровского является не простое последовательное включение фотоприемника и бортового вычислителя цифровой обработки сигналов, а их слияние, симбиоз, который проявляется в многоконтурности адаптации системы наблюдения. Для решения сложной задачи адаптации приемно-передающего тракта и системы сбора и обработки видеоинформации предлагается несколько уровней адаптации, которые включают и адаптацию режима работы фотоприемных матриц, и адаптацию оптических систем, и адаптацию средств обработки и кодирования информации. Новизна работы видна из того, что огромное количество публикаций по адаптации видеоинформационных систем на протяжении полувека ограничивались перестройкой времени накопления при постоянной кадровой частоте и имели целью согласование системы с освещенностью сцены, тогда как автором впервые детально обоснована необходимость адаптации кадровой частоты для согласования системы с динамическими характеристиками сцен.

В ходе проведенного исследования автором предложены новые критерии для синтеза видеоинформационных систем и получен ряд новых аналитических выражений для определения ключевых параметров системы, причем эти формулы хорошо обозримы, физически внятно обосновывают предложенную автором концепцию. В частности, мне импонирует подкреплённая новой формулой (5.4) нетривиальная идея оптимизации адаптации с опорой на принцип максимума времени, в течение которого система находится в заданном минимально возможном интервале контролируемого параметра. Интересны также впервые введенные в синтез видеоинформационных систем уравнения управления кадровой частотой (4.15), (5.15). В результате в синтез систем управления параметрами фотоприемной подсистемы автором внесен вклад в виде оптимизации значения порогов специально введенного гистерезиса, обеспечивающего минимизацию ложных переключений состояний системы при достижении основной цели минимизации ошибок оценивания пространственно-временных координат объектов.

В результате исследований автора проектирование космических видеоинформационных систем не просто укрепилось в современном облике опоры на нейросетевые методы обработки информации, а получило методологию определения сложности нейроподобной сети, требуемой для достижения максимума качества передаваемой информации, которое автор формализовал при опоре на принцип доминантной информации, внося в него учёт не только ошибок определения азимута на объект, но и задержку получения информации.

#### Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость результатов определена практической направленностью исследования на существенное расширение диапазона рабочих дальностей до наблюдаемого кооперируемого космического аппарата. Она подтверждена применениями предложенных технических решений, что отражено в шести актах внедрения.

#### Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена хорошей теоретической базой исследований, доказательными выкладками с корректным использованием современного математического аппарата, использованием реальных изображений

космических аппаратов, полученных как с близких расстояний с других космических аппаратов, так и с больших расстояний при наблюдении с Земли геостационарных спутников. Также достоверность результатов подтверждена апробацией на девяти международных конференциях, многими публикациями, в том числе в рейтинговых изданиях.

### Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, перечня сокращений и шести приложений. Общий объем диссертации составляет 341 страницу, из них основной текст занимает 283 страницы, включая 75 рисунков, 10 таблиц, библиографический список содержит 371 наименование, включая 73 публикации соискателя.

Диссертация решает задачу синтеза космических видеоинформационных систем с использованием адаптивной обработки изображений динамических сцен. Адаптация применяется в фотоприёмной матрице и бортовом вычислителе, что позволяет снять противоречивые требования к особенностям изображения, вызванные, с одной стороны, ограниченной скоростью передачи и обработки видеоинформации в бортовых системах, с другой стороны, необходимостью достижения высокой информативности изображений в реальном масштабе времени.

Актуальность темы исследований несомненна вследствие потребностей развития космонавтики, что дополнительно подтверждено поддержкой исследований Федеральной космической программой.

**Во введении** (с. 5–23) обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, поставлены задачи исследования, описаны методы исследований, сформулирована научная новизна и практическая ценность выполненных исследований, даны основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** (с. 24–70) дан краткий обзор научных направлений, которые представляют интерес для синтеза систем управления параметрами системы наблюдения. Приведен обзор смежных направлений. Описаны космические системы наблюдения в целом, рассмотрены принципы определения расстояний, что особенно важно обеспечивать в динамике и с высокой точностью, например, при выполнении стыковки космических аппаратов. Рассмотрен принцип С. П. Королева итерационного сближения космических аппаратов при стыковке. Описан принцип доминантой информации и его приложение к задаче получения и обработки видеоинформации в космосе. Отмечены проблемы, порождаемые большой скоростью движения изображений и большим динамическим диапазоном яркости, составляющим 6 порядков для объектов в целом и 10 порядков для отдельных космических объектов. Даны структурные схемы систем обработки видеоинформации при передаче изображений, систем обнаружения сигнала и систем обработки информации. Обсуждены методы адаптации видеоинформационных систем. Обсуждены методы обнаружения объектов на фоне звезд, адаптация к уровню освещенности, адаптация и оптимизация кадровой частоты на дальней и на ближней дистанции, обсуждена адаптация при кадрировании источника видеоинформации. Обсуждены алгоритмы и структуры бортовых программных средств обработки видеоинформации. На основании рассмотренных проблем и методов их решения, а также недостатков известных методов решения этих задач осуществлена постановка задач диссертационного исследования.

**Вторая глава** (с. 71–120) посвящена изложению концепции оптимизации и адаптации структуры и параметров системы наблюдения динамических сцен. Дана модель трехосновного итерационного синтеза системы наблюдения. Представлена и

детально обсуждена концепция адаптивной обработки видеоинформации в системах наблюдения динамических сцен. Изложена концепция адаптации космической системы наблюдения к этапам наблюдения. Сделаны выводы о важности принципа доминантной информации и об использовании модели наблюдения. Обоснована важность критерия максимального качества информации при внешнем проектировании и важность критерия времени нахождения в минимальных зонах нечувствительности и критерия среднеквадратичной ошибки при внутреннем проектировании. Указаны основные характеристики свойств адаптации видеоинформационной системы. Сделан вывод о том, что адаптация позволяет расширить диапазон рабочих дистанций более чем на порядок.

**В третьей главе** (с. 121–168) рассматривается проблема обнаружения космических аппаратов на дальней дистанции. Обсуждаются особенности информационных оценок в различных подзадачах, а также методы обеспечения помехоустойчивости классификации объектов по признаку скоростного смаза. Показана возможность объективной количественной оценки качества информации и нахождения оптимальных параметров обработки информации в видеоинформационных системах в виде соотношения (3.6). Дан алгоритм классификации сигналов по признаку наличия смаза. Получены выражения для оптимальных оценок размеров сигнала и решающей статистики. Совместное рассмотрение обнаружения–оценивания сигналов и передачи оценок их параметров обосновывает асимметрию порога обнаружения. Помехоустойчивость различения сигналов по признаку скоростного смаза зависит от времени накопления. Даны рекомендации по оптимальной классификации объектов по этому признаку, рекомендации по выбору параметров системы, обсуждается экспериментальное подтверждение теории и показана эффективность предложенного решения.

**В четвертой главе** (с. 169–194) рассмотрена адаптация кадровой частоты на дальней дистанции. Сделан вывод о том, что адаптивная система благодаря адаптации кадровой частоты обеспечивает на дальней дистанции на порядок лучшие информационные показатели по сравнению с системой с фиксированной кадровой частотой. Сделаны и другие важные выводы по алгоритмам и критериям адаптации на дальней дистанции.

**В пятой главе** (с. 195–217) рассмотрена адаптация кадровой частоты на ближней дистанции. Сделан вывод о том, что благодаря адаптации кадровой частоты на ближней дистанции ценой сокращения чёткости изображения может быть на порядок сокращена граница своевременной реакции. Адаптация телевизионной системы к динамике сцены позволила решить задачу минимизации ошибок измерения изменяющихся во времени пространственно-временных координат объектов при ограничении скорости считывания информации с фотоприёмных матриц.

**В шестой главе** (с. 218–222) рассмотрено адаптивное кодирование изображений, делимых на доминантный объект и фон, на средней дистанции. Использование современных методов обработки изображений с использованием нейроподобных сетей позволяет существенно повысить коэффициент сжатия передаваемых изображений без потери информации о сигнале доминантного объекта космического аппарата, в том числе о его пространственно-временных координатах.

**В седьмой главе** (с. 223–274) обсуждаются перспективы программно-аппаратной реализации разработанных методов и алгоритмов в космических бортовых видеоинформационных системах. Разработаны нейросетевые методы селекции изображений космических объектов на сложном фоне, в том числе фоне звёзд или Земли, в широком диапазоне дальностей наблюдения. Для оценки реализуемости разработанных методов и алгоритмов использованы параметрические модели

вычислительной мощности компьютерных платформ. Предложенный метод селекции оптических изображений искусственных космических объектов на фоне звёзд в кадрах большой размерности с использованием нейросети TinyYOLO v2-416, обеспечивающей высокую достоверность селекции изображений размером 416×416 пикселей, при реализации на 9 процессорных чипах «Эльбрус-8С» позволил вести обработку видеопоследовательностей формата 1 Мпиксел с кадровой частотой 35 Гц. Высокий уровень параллелизма нейросетевых решений, регулярность и однородность их сетевой структуры позволяет реализовать чип, который сможет обеспечить обработку видеопоследовательностей формата 1 Мпиксел с кадровой частотой 50 Гц. Разработанные нейросетевые методы и алгоритмы обеспечивают максимально возможное качество информации. Методы и алгоритмы обработки информации в адаптивной видеоинформационной системе контроля сближения космических аппаратов, характеризуются высоким параллелизмом, обеспечивающие повышение быстродействия и имеющие перспективу реализации в системах на кристалле.

**В заключении** (с. 275–287) подытожены результаты диссертации и даны общие выводы.

**В приложениях** (с. 331–341) даны акты внедрений результатов в телевизионных системах для космической техники (6 актов).

#### Подтверждение опубликования основных результатов диссертации

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 90 печатных работах, из них 17 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 1 монография, 6 публикаций в изданиях, проиндексированных в базе Scopus и WoS; 13 публикаций в базе РИНЦ, 10 публикаций в других изданиях, 6 публикаций в тезисах докладов; 1 патент на изобретение; 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Также результаты диссертационного исследования широко докладывались на 9 международных конференциях и на российской конференции.

#### Замечания по диссертационной работе:

1. По-видимому, не всякий источник сети Интернет является научным, в том числе ссылки на Википедию в диссертационной работе не являются лучшим выбором; корректнее было бы сослаться на статьи в научных журналах, на монографию или энциклопедию (см. стр. 11).

2. Утверждение о традиционном разделении систем по-отдельности на системы сбора информации и системы обработки информации (стр. 31, предпоследний абзац) излишне обобщенное: понятие о системах сбора и обработки информации имеет давнюю историю, это понятие было широко известно уже в 1962 году: «В 1962 г. по заданию А.Н. Косыгина ... В.М. Глушков начал разработку проекта, который позже получил название Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС)», см. <http://integral-russia.ru/2020/08/14/istoriya-pervogo-v-mire-proekta-avtomatizatsii-narodnogo-hozyajstva-strany-opyt-sssr/>.

3. В соотношении (1.4) не понятен символ @C. Желательно было бы пояснить.

4. Функциональные схемы рис. 124 должны называться схемами моделирования наблюдения, поскольку это схемы реального процесса, тогда вместо трех отдельных блоков формирования доминантного сигнала, фона и шума должен быть единый блок – реальный сигнал.

Замечаний по автореферату: нет.

Указанные недостатки не умаляют ценности диссертационной работы, поскольку все они относятся к редакционным замечаниям.

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, 824) о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации», а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой автоматике  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Новосибирский государственный  
технический университет»  
доктор технических наук, доцент

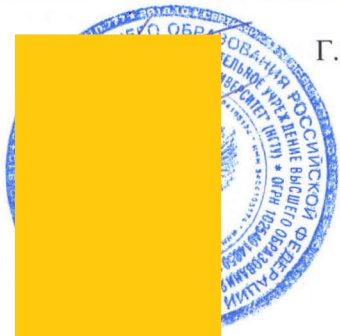


Жмудь Вадим Аркадьевич

20.10.2021

Почтовый адрес:  
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20  
Телефон: (8383) 346-11-19  
E-mail: zhud@corp.nstu.ru

Подпись заведующего кафедрой автоматике НГТУ д.т.н., доцента В.А. Жмудя удостоверяю.  
Ученый секретарь НГТУ  
доктор технических наук, профессор



Г.М. Шумский